

Е. И. Стенина

Уральский государственный лесотехнический университет

**ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ КОМПОЗИТОВ**

Необходимость специальной подготовки древесного наполнителя при производстве уже известных органико-минеральных композитов не дает возможность рассматривать данные технологии как чисто утилизационные. Актуальной остается задача создания дешевого материала с заданными характеристиками на основе низкзатратных технологий и доступной сырьевой базы. Эксперименты показали, что импульсные нагрузки обеспечивают большую плотность блоков, чем статическая и циклическая нагрузки, превышающие регламентированные значения для конструкционных блоков; по истечении 28-дневной технологической выдержки плотность не соответствует норме только у блоков, созданных при циклических нагрузках. Вариация плотности по сечению блока незначительна и составляет не более 5%. Плотность блоков в верхней части несколько выше при применении импульсных и статических нагрузок, чем в нижней части, что вызвано использованием песка из отсевов дробления в качестве уплотнителя, который не успевает просесть вниз при этих режимах. Получен конструкционный древесно-стружечный материал, сочетающий в себе умеренную плотность, хорошее термосопротивление и беспрецедентную прочность.

Ключевые слова: древесный наполнитель, композит, импульсная нагрузка, технологическая выдержка, уплотнитель.

E. I. Stenina

Ural State Forestry Engineering University

**WAYS TO IMPROVE PHYSICAL AND TECHNICAL PARAMETERS
OF CEMENT-BONDED COMPOSITES**

The need for specialized preparation of wood filler in the production of already known organic mineral composites gives no opportunity to look at these technologies as pure recycling. The challenge remains to create a low-cost material with given characteristics on the basis of low-cost technologies and available raw materials. Experiments have shown that impulsive load provide a higher density blocks, than static and cyclic load exceeding the regulated values for structural blocks; after 28-day technological maturing the density does not correspond to the norm only with units created under cyclic loads. Density variation over the cross section of the block is insignificant and is not more than 5%. The density of blocks in the upper part is slightly higher with the use of impulsive and static loads than at the bottom, which is caused by the use of sand from the crushing as a sealer, which is not time to sink down in these modes. The obtained structural chipboard material combines moderate density, good thermal resistance and unprecedented durability.

Key words: wood filler, composite, pulse load, technological extract, seal

Основная тенденция мирового развития деревоперерабатывающих производств – это изыскание путей оптимизации использования образующихся древесных отходов. С этой целью разработан ряд технологий, в том числе, получения различного рода композитов из измельченной древесины. Однако и они предполагают дополнительную сортировку и специальную подготовку древесных частиц, что вновь приводит к образованию новых отходов. Поэтому большой интерес представляет изучение возможности получения композита с наполнителем из необлагороженной стружки, образующейся, например, после окорки круглых лесоматериалов. Учитывая бум малоэтажного строительства последних лет, крайне востребованными являются цементно-стружечные блоки, чьи харак-

теристики можно моделировать. Задачей исследований являлось создание относительно легкого композиционного строительного материала с древесным наполнителем, отличающийся простой и однородной конструкцией и рецептурой, стабильной формой и размерами при высоких показателях прочности и теплосопротивления, сохраняющимися на протяжении длительного срока, а также предполагающий низкзатратную технологию производства без удорожания строительно-монтажных работ. В современном малоэтажном строительстве уже используются композиционные строительные блоки (опилкобетон, бризолит, арболит), когда сам материал и его конструкция создаются одновременно. Основными техническими достоинствами этих материалов являются высокая

прочность, шумоизоляция, огнестойкость при малой плотности и низкой цене по сравнению с другими строительными материалами.

Опилкобетонный блок – это строительный материал, получаемый методом вибропрессования, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда, производимый из смеси 18,2% вяжущего вещества (цемента не ниже марки М-400 по ГОСТ 10178-85), наполнителей – песка (54%), древесных опилок (18,2%), химических добавок (0,5%) и воды (9,1% от массы). Возможно применение опилок практически всех пород древесины, предпочтительно хвойных, прошедших двух-трехмесячную выдержку (табл. 1).

Недостатком этого композита является использование в качестве древесного наполнителя сухих опилок, что помимо повышения плотности блоков существенно снижает их прочность и сужает возможную сырьевую базу, а также усложняет технологический процесс изготовления данного материала. Повышению плотности при одновременном снижении прочности и теплопроводности материала способствует также значительное содержание песка. Большая плотность опилкобетонных блоков влечет за собой удорожание монтажных работ и повышает требования к фундаментам.

Арболит – композиционный строительный материал, который изготавливают из смеси органических целлюлозосодержащих наполнителей растительного происхождения (дробленых отходов деревообработки, костры конопли, льна, сечек, стеблей хлопчатника, камыша и т. д.), минерального вяжущего (обычно портландцемента), химических добавок и воды (32,6:42,9:1,2:23,3% от массы соответственно). Размеры древесных частиц влажностью не более 22% не должны превышать по длине 40, по ширине 10, а по толщине 5 мм (рис. 1). В соответствии с ГОСТ 19222-84 содержание примесей коры в измельченной древесине не должно быть более 10%, а хвои и листьев – не более 5% по массе сухой смеси заполнителя.

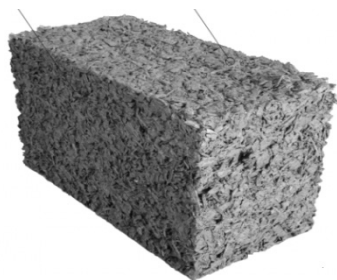


Рис. 1. Строительный блок на основе арболита

К недостаткам арболита следует отнести отсутствие химических добавок, что влечет необходимость увеличения содержания порт-

ландцемента до 42,9%, способствуя удорожанию блоков и значительному их короблению и усадке.

Бризолит представляет собой несъемную опалубку, конструкция которой предусматривает заливку раствором бетона внутренней полости блока с целью создания монолитного каркаса здания (рис. 2). Состоит из следующих ингредиентов: 75% древесной шерсти хвойных пород длиной 2–4 см, 15% цемента, 5% минеральных гидрофобизирующих добавок и 5% воды.

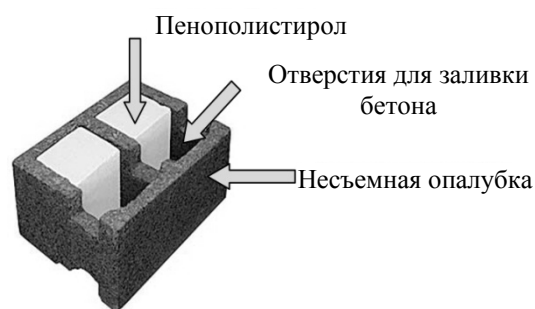


Рис. 2. Бризолитный строительный блок

Недостатками бризолита является необходимость владения специальными технологиями монтажа и высокая стоимость строительства. Важнейшие конструкционные показатели цементно-стружечного композита будут определяться химическими реакциями, протекающими в матрице из портландцемента, физическими характеристиками древесного наполнителя и режимами формирования блока. Портландцемент является самой дорогой составляющей композита, поэтому с целью удешевления блока возможно добавлять незначительное количество песка. После окорки и оцилиндровки круглых лесоматериалов получают сырую стружку, как правило, хвойных пород с нелимитированным содержанием коры и значительными размерами частиц (до 30% длиной более 5 см) (рис. 3, 4). Для лучшей ее смачиваемости необходимо применение силиката кремния. Данная добавка также является гидрофобизатором, который препятствует набуханию древесного наполнителя при последующем увлажнении блока, и способствует лучшему схватыванию портландцемента, что исключает дополнительное конструкционное упрочнение блока. Содержание добавки должно быть менее 5%, т. е. большее ее количество провоцирует разрушение цемента при последующей эксплуатации. Учитывая, что при изготовлении цемента может добавляться до 3% данного вещества, то суммарное содержание его в блоке должно быть незначительным.

Таблица 1

Основные характеристики композиционных строительных блоков

Композит	Показатели			
	прочность, МПа	плотность, кг/м ³	теплопроводность, Вт/м*К	водопоглощение, %
Опилкобетон	для М 35 более 2,2	1100	0,29	–
Арболит	для М 35 более 2,2	600–750	0,12	до 85
Бризолит 1Р	3,3	705	0,138	–



Рис. 3. Отходы после окорки и оцилиндровки

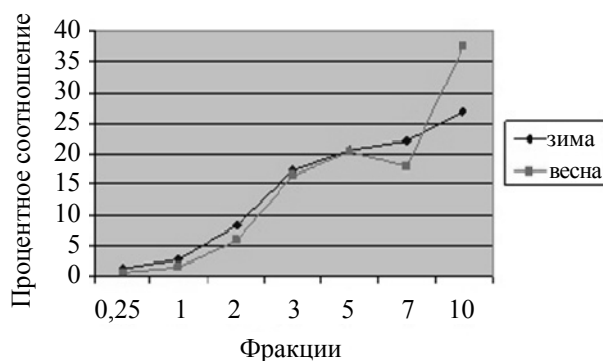


Рис. 4. Фракционный состав мягких отходов после окорки и оцилиндровки

Повышение доли наполнителя до 40...50% (опилкобетон – 18,2%, арболит – 32,6%, бризолит – 75%) способствует облегчению блока, обеспечению высокой прочности, пористости, а значит, хорошему теплосоппротивлению. Крупная стружка (до 30%), работающая как упругий армирующий элемент, и значительная доля коры еще повысит прочность и пористость композита (рис. 5).

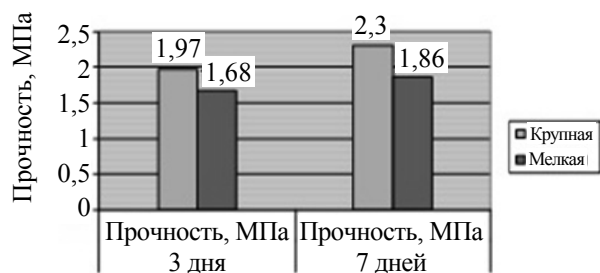


Рис. 5. Динамика прочности на сжатие для блоков из разной стружки

Высокая влажность стружки способствует ее хорошей смачиваемости, а значит, большей однородности композита. Благодаря этому возможно значительно снизить долю воды при формировании цементно-стружечной смеси.

Выдержка стружки перед прессованием в течение не менее двух месяцев способствует гидратации сахаров древесины, сохранению высокой прочности блока на протяжении длительного периода.

Определяющим критерием при отнесении строительных цементно-стружечных блоков к категории теплоизоляционных или конструкционных является плотность блока. Применение в качестве наполнителя большой доли достаточно крупной стружки провоцирует риск снижения плотности материала, поэтому целесообразно введение в состав композита песка в качестве уплотнителя.

Как показали эксперименты, добавка небольшой доли песка привела к неожиданным результатам (табл. 2).

Таблица 2

Сводная таблица результатов эксперимента

Рецепт	Показатели блока		
	влажность после трех дней, %	прочность на сжатие, МПа	плотность, кг/м ³
1 (без песка)	34,3	3,06	820,32
2 (с добавлением песка)	39,8	3,39	820,33

Применяемые способы формирования композиционных блоков играют существенную роль в обеспечении заданных физико-технических показателей. Наиболее технологичным является способ вибропрессования. В экспериментах цементно-стружечные блоки формировались с применением статической, циклической и импульсной нагрузок (рис. 6). После технологической выдержки блоки распиливались на образцы размерами 100×100×100 мм, для которых определялись плотность, прочность на сжатие по ГОСТ 22783-77 и влажность весовым методом.

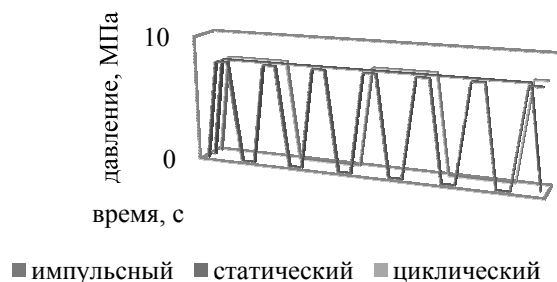


Рис. 6. График режимов прессования

Эксперименты показали, что:

1) импульсные нагрузки обеспечивают большую плотность блоков ($755,6 \text{ кг/м}^3$), чем статические и циклические нагрузки ($687,1$ и 638 кг/м^3), превышающие регламентированные значения для конструктивных блоков (600 кг/м^3) [1]; по истечении 28-дневной технологической выдержки плотность не соответствует норме только у блоков, созданных при циклических нагрузках (рис. 7);

2) вариация плотности по сечению блока незначительна и составляет не более 5% (рис. 8, табл. 3);

3) плотность блоков в верхней части несколько выше при применении импульсных и статических нагрузок, чем в нижней части, что вызвано использованием песка из отсевов дробления в качестве уплотнителя, который не успевает просесть вниз при этих режимах (рис. 8, табл. 3);

4) в верхней части всех блоков плотность несколько выше во внешних секциях, чем во внутренних (вариация – 4,6%), что является крайне привлекательным при восприятии блоками конструктивных нагрузок, а в нижней части блоков – обратная тенденция из-за просевшего песка;

5) блоки, созданные по импульсному режиму прессования, имеют более высокие значения предела прочности на сжатие, чем образцы, созданные другими режимами и набирают ее;

6) регламентированные значения через 10 суток, т. е. в 1,5 раза быстрее (рис. 7);

7) во всех режимах через 7 дней после формирования блоки достигают влажности $20 \pm 2\%$, что ниже регламентируемых 25% [1].

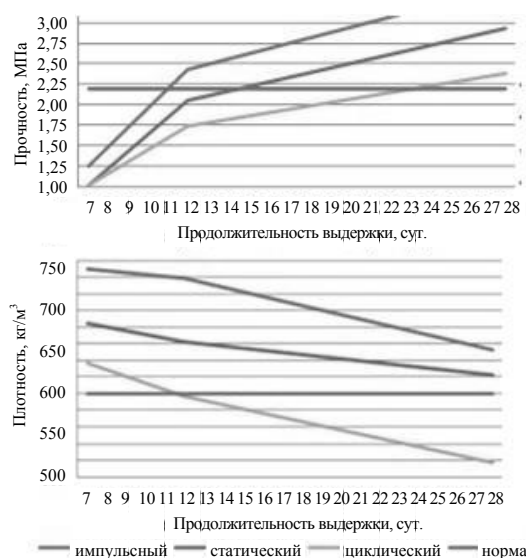


Рис. 7. Динамика основных показателей блоков, сформированных разными видами нагрузок



Рис. 8. Схема отбора образцов из блоков

Таблица 3

Распределение физико-механических показателей блоков, созданных при различных видах нагрузок

Точки блока		Импульсный режим		Статический режим		Циклический режим	
		плотность, кг/м^3	прочность, МПа	плотность, кг/м^3	прочность, МПа	плотность, кг/м^3	прочность, МПа
верх блока	1	773,5	1,277	696	1,252	644,7	1,032
	3	762,8	1,248	689,3	1,239	631,2	1,007
	5	774	1,296	700,2	1,288	648,6	1,039
	7	752,2	1,247	676,8	1,227	630,4	1,011
	9	734,3	1,217	677,4	1,183	624,6	0,962
	11	747,2	1,290	683,8	1,220	641,6	1,013
среднее значение		757,3	1,262	687,3	1,235	636,8	1,011
низ блока	2	755,8	1,245	696,5	1,256	648,2	1,045
	4	768,25	1,262	693,2	1,232	633,8	1,009
	6	764,8	1,322	686,6	1,288	648,3	1,044
	8	736,8	1,269	676,4	1,253	643,8	1,014
	10	749,4	1,221	682,2	1,165	625,3	0,961
	12	748,5	1,288	686,5	1,203	635,8	1,010
среднее значение		753,9	1,268	686,9	1,233	639,2	1,014
общее среднее		755,6	1,265	687,1	1,234	638,0	1,012

Таким образом, применение импульсных нагрузок при формировании цементно-стружечных строительных блоков предпочтительно.

Как показывает мировой опыт, ориентация стружки по сечению блока в разных плоскостях может придать дополнительную прочность и стабильность композита. Особенности конструкции материала также могут затруднить или интенсифицировать протекание физико-химических процессов, поэтому целью исследований явилось изучение динамики основных показателей слоистых композиционных блоков, у которых наружные слои были сформированы из крупной стружки, а внутренние – из мелких фракций (менее 3/2). С этой целью были импульсным режимом сформированы блоки слоистой конструкции и испытаны по вышеописанным методикам (рис. 9).

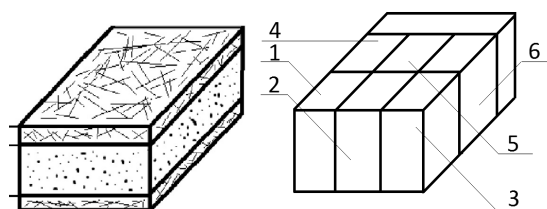


Рис. 9. Конструкция слоистых блоков и схема отбора проб

Исследования показали следующее:

1) колебания плотности по сечению слоистого блока по истечении 7 суток составляют 1,35–5,7 %, (рис. 10);

2) минимальное значение плотности – 643,5 кг/м³, что ниже плотности обычных блоков (755 кг/м³), но соответствует регламентированным значениям для конструкционных блоков (≥ 600 кг/м³);

3) слоистый блок сохнет быстрее (рис. 9);

4) прочность на сжатие у обычного блока по сечению изменяется от 2,64 до 3,82 МПа, а у слоистого – 3,17–4,26 МПа, хотя просыхал он быстрее и портландцемент не успел набрать оптимальную прочность (рис. 10);

5) у слоистого блока скорость увеличения прочности резко возрастает по истечении 21 сут., а у обычного блока – через 27 сут., что обуславливается, вероятно, более пористой структурой слоистого блока, способствующей легкому внедрению и продвижению из окружающей среды влаги, необходимой для упрочнения цементной матрицы (рис. 11);

6) регламентированную прочность (2,2 МПа) блоки достигают через 17 сут, независимо от их конструкции (рис. 11);

7) прочность распределяется более равномерно по сечению слоистого блока; нестабильность прочности по периферии блока обуслов-

лена, главным образом, условиями просыхания, а также «непромесом» смеси;

8) максимальная прочность наблюдается в середине слоистого блока (4,26 МПа), где просыхание затруднено и активней протекают химические реакции твердения портландцемента;

9) по истечении 30 суток прочность на сжатие у слоистого блока составляет 5,14 МПа, что на 17,3% выше, чем у обычного (4,25 МПа).

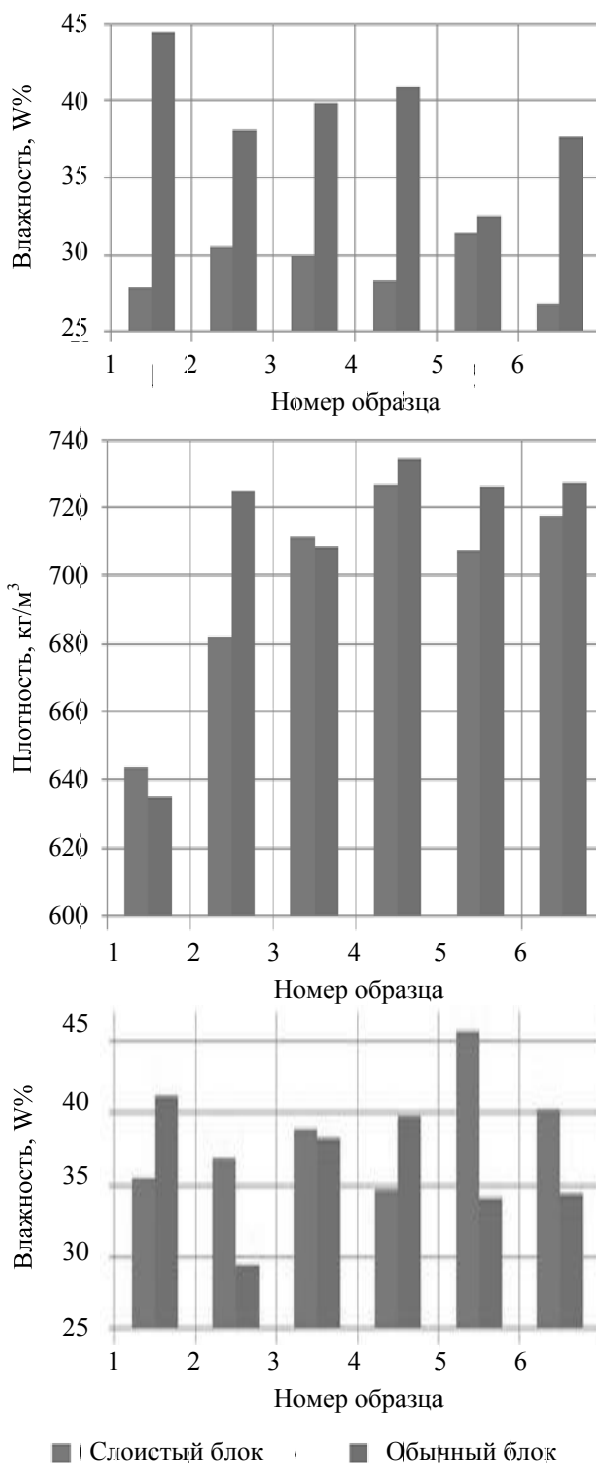


Рис. 10. Диаграммы распределения основных показателей по сечению блоков

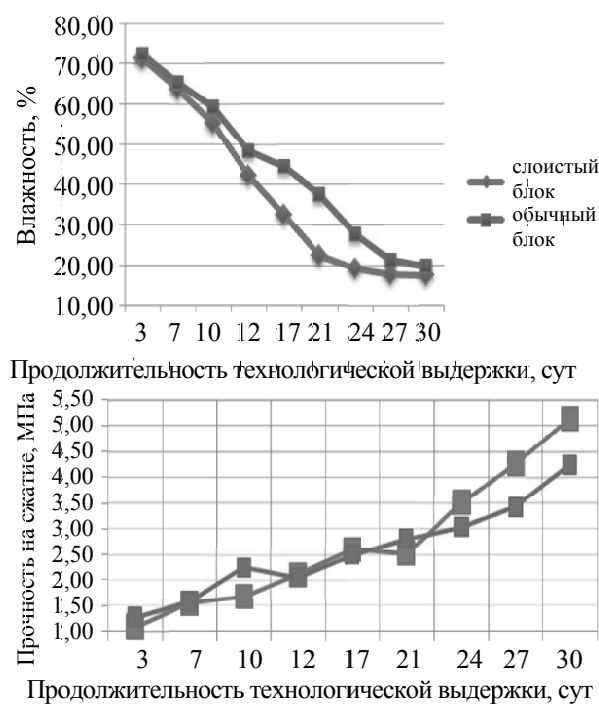


Рис. 11. Динамика основных показателей блоков

Проведенные технологические и экономические расчеты показали, что удорожание процесса производства цементно-стружечных слоистых блоков составит около 30%, а увеличение их прочности – только на 17%, поэтому было принято решение, что данное направление моделирования свойств композита – не рационально. Поэтому дальнейшая работа была построена на «отработке» состава композита. Полученному композиту был присвоен товарный знак «Форт-блок» и проведены соответствующие испытания (табл. 4), на основании которых можно сделать следующие выводы:

1) по истечении 28 суток со дня формирования блоков их влажность составляет 12,1%, что более чем в два раза ниже верхней допустимой границы ($\leq 25\%$), регламентированной

ГОСТ 19222-84, что свидетельствует о хорошем просыхании блоков и окончании, в основном, химических процессов, обуславливающих набор прочности;

2) плотность блоков составляет 733 кг/м^3 и соответствует требованиям к конструкционным блокам марок М35 класса В2,5 и М50 класса В3,5 по ГОСТ 19222-84;

3) водопоглощение блоков составляет 45,2% (данный показатель нормативной документацией не регламентируется);

4) прочность на сжатие составляет 8,15 МПа, что в 2,5 раза выше регламентированной значенной для наиболее прочных конструкционных блоков марки М50 класса В3,5 по ГОСТ 19222-84;

5) коэффициент вариации прочности составляет 12,3% и соответствует ГОСТ 18105-2010 ($< 20\%$) и ГОСТ 19222-84 для изделий и конструкций высшей категории качества ($< 15\%$), что свидетельствует об однородности блоков;

6) теплопроводность ниже, чем у известных цементно-стружечных строительных композитов.

Таким образом, получен конструкционный древесно-стружечный материал, сочетающий в себе умеренную плотность, хорошее термостойкое сопротивление и беспрецедентную прочность, аналогов которому не существует (рис. 12).



Рис. 12. Строительный Форт-блок

Таблица 3

Результаты испытаний Форт-блоков

Наименование показателя	Фактическое значение	Нормативные значения по ГОСТ 19222-84	Закключение о соответствии
Влажность блока, %	12,1	≤ 25	соответствует
Плотность, кг/м^3	733	600...750 700...850	соответствует марке М35 класса В2,5; марке М50 класса В3,5
Теплопроводность при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$	0,112	$\leq 0,12$	соответствует марке М35 класса В2,5; марке М50 класса В3,5
Прочность на сжатие, МПа	8,15	$\geq 2,2$ $\geq 3,2$	соответствует марке М35 класса В2,5; марке М50 класса В3,5
Коэффициент вариации прочности	12,3	< 20	соответствует

Литература

1. ГОСТ 19222-84. Арболит и изделия из него. Общие технические условия. Введ. 1984-01-01. 19 с.
2. ГОСТ 22783-77. Бетоны. Метод ускоренного определения прочности на сжатие. Введ. 1978-07-01. 25 с.

References

1. GOST 19222-84. Arbolita and articles thereof. General technical conditions. An introd. 1984 –01-01. 19 p. (In Russian)
2. GOST 22783-77. Concrete. Method for the rapid determination of the compressive strength. An introd. 1978-07-01. 25 p. (In Russian)

Информация об авторах

Стенина Елена Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения и специальной обработки древесины. Уральский государственный лесотехнический университет (620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт 37, Российская Федерация). E-mail: sten_elena@mail.ru

Information about the authors

Stenina Elena Ivanovna – PhD, assistant lecture of Department wood science and special processing of wood. Ural state forestry University (620100, Ekaterinburg, street Siberian highway 37, Russian Federation). E-mail: sten_elena@mail.ru

Поступила 23.02.2015